

Détermination du degré d'aridité bioclimatique de sept localités du département de Tillabéri (sud-ouest du Niger) : classement en zones bioclimatiques

Larwanou Mahamane¹
Saadou Mahamane²
André Nonguierma³

¹ Institut national de la recherche agronomique du Niger (Inran), Département de gestion des ressources naturelles, BP 429, Niamey, Niger

<larwanou@caramail.com>
<m.larwanou@coraf.org>

² Département de biologie végétale, Université Abdou Moumouni de Niamey, BP 10662, Niamey, Niger

<ali_mahamane@yahoo.fr>

³ Centre régional AGRHYMET, BP 11011, Niamey, Niger

Résumé

Une détermination du degré d'aridité bioclimatique de sept localités du département de Tillabéri dans le Sud-Ouest nigérien a été faite afin de les classer en zones bioclimatiques. Les données climatiques de trente ans (1970-1999), couplées avec des informations biophysiques de cette région ont été utilisées pour cet exercice. Il ressort de ces investigations que deux zones bioclimatiques distinctes et une zone intermédiaire peuvent être mises en évidence. Il s'agit de la zone semi-aride et de la zone aride. La zone semi-aride a un indice d'aridité compris entre 0,21 et 0,19 et comprend les localités de Say, Kollo et Niamey ; la zone aride, quant à elle, a un indice d'aridité bioclimatique de 0,17 à 0,15 et comprend les localités de Tillabéri, Ouallam et Filingué. La localité de Téra est classée comme intermédiaire entre les deux zones bioclimatiques. Cette étude a permis de situer le degré de vulnérabilité climatique de ces localités prises individuellement et collectivement.

Mots clés : Bioclimatologie, Aridité, Indicateurs, Niger.

Abstract

Determination of the bioclimatic aridity of seven localities in the province of Tillabéri (South Western part of Niger) and their distribution into bioclimatic zones

A study aimed at determining the bioclimatic aridity gradient of seven localities in the Province of Tillabéri (South Western part of Niger) was carried out in order to distribute these localities into bioclimatic zones. A set of climatic data spreading over thirty years (1970-1999), coupled with biophysical information on this region was used. As a result of this investigation, two distinct bioclimatic zones were identified with an intermediary one in-between. The bioclimatic zones are: a semi-arid zone with an aridity degree ranging from 0.21 to 0.19, and comprising the localities of Say, Kollo, and Niamey; an arid zone with an aridity index of 0.17 to 0.15, and containing the localities of Tillabéri, Ouallam, and Filingué. With an aridity index of 0.17, Téra was considered as an intermediary zone. This study provides an insight into the degree of climatic vulnerability of these localities taken individually and collectively.

Key words: Bioclimatology, Aridity, Indicators, Niger.

Le Niger, pays sahélien continental d'Afrique, couvre 1 267 000 km². Son territoire est à cheval sur la partie nord de la zone soudanienne, la zone sahélienne et le Sahara méridional [1]. Seulement 11,8 % du territoire, soit une bande méridionale de 200 km de large, est une partie assez bien arrosée qui se prête à l'agriculture pluviale (Plan quinquennal 1987-1991).

Le département de Tillabéri (104 245 km²) qui constitue l'aire d'étude, se situe dans la partie sud-ouest du pays, entre 11° 5" et 15° 45" de latitude Nord et 0° 10" et 4° 20" de longitude Est, ce qui correspond à 8,2 % du territoire.

Le relief est un plateau incliné du nord vers le sud, à légères ondulations, d'une altitude moyenne d'environ 250 m [2]. Le Niger, troisième fleuve d'Afrique, coule dans la partie ouest du département et reçoit des affluents qui sont des rivières temporaires.

Du point de vue du climat, on distingue une saison humide qui couvre la période allant de juin à septembre et une saison sèche s'étendant d'octobre à mai. Les précipitations moyennes annuelles varient considérablement de 250 mm dans la zone à climat sahélo-saharien au nord à plus de 500 mm dans la zone à climat soudano-sahélien au sud. Les pluies sont variables dans le temps et dans l'espace. Les températures sont aussi variables avec une moyenne des minima avoisinant les 20 °C et une moyenne maxima de 37 °C.

L'analyse des photographies aériennes a révélé qu'une zone de 5,21 millions d'hectares était adaptée à l'agriculture à partir des lignes isopluviales et de la répartition des sols dans le département, ce qui représente environ 50 % de la surface totale [2]. Toutefois, cette zone comprend un total d'environ 912 392 hectares de parcs nationaux et de forêts classées et 1 650 208 hectares d'autres forêts qui représentent respectivement 9 % et 16 % de la surface du département [2].

L'état actuel de la dégradation des ressources naturelles due aux aléas climatiques et aux actions anthropiques dans cette partie du Niger est menaçante au nord. Cet état de fait, en plus d'une augmentation de la population, a entraîné une baisse de la production des céréales, de la période de jachère, de la surface cultivée par agriculteur.

L'objectif de cette étude est de comprendre la situation bioclimatique des différentes localités choisies, afin de contribuer à mettre au point un outil d'aide à la décision permettant de mieux circonscrire les interventions de développement sur le terrain. Pour ce faire, les données climatiques de 30 ans issues de différentes stations

synoptiques des localités concernées ont été traitées.

L'étude devrait permettre de distinguer les degrés et les gradients d'aridité bioclimatique de chaque localité. Il s'agit d'un exercice pionnier au Niger, à cette échelle, dont les conclusions devront pouvoir être étendues aux autres parties du pays.

Matériel et méthode

Concept et types d'aridité bioclimatique

L'aridité reflète un déficit pluviométrique permanent mais elle est liée à d'autres données climatiques spécifiques telles que : insolation forte, températures élevées, faible humidité de l'air, évapotranspiration poussée [3]. D'après Mainguet, l'aridité est un état engendré par les mécanismes produisant un déficit en eau dans l'atmosphère et les sols, la faiblesse des précipitations et l'intensité de l'évaporation étant les plus déterminants mais non les seuls.

L'indice d'aridité bioclimatique choisi est celui qui est utilisé par la FAO et l'Unesco [4] suivant un critère quantitatif de différenciation des zones sèches, qui est « l'importance relative des apports d'eau par les pluies et les pertes par évaporation et transpiration, P/Etp » telle que rapportée par Riquier et Rossetti [5]. Ce concept a déjà été utilisé pour décrire les zones sèches terrestres affichant des signes de sécheresse. Il fait intervenir aussi bien les paramètres climatiques tels que la pluviométrie, la température, l'évaporation que les paramètres biologiques et écologiques. C'est donc un concept qui permet de distinguer et de classer les différentes zones écoclimatiques. Dans la classification des zones écoclimatiques de l'Afrique intertropicale qu'il a établie, de Martonne a distingué les zones tropicales à distribution monomodale des précipitations, et les zones équatoriales qui ont une distribution bimodale [6].

Les distributions monomodales sont celles des zones sèches du Niger en général et du département de Tillabéri en particulier. Bagnouls et Gaussen [7, 8] ont défini les mois secs comme ceux dont la pluviosité moyenne mensuelle en millimètres est inférieure ou égale au double de la température moyenne mensuelle exprimée en degrés Celsius ($P < 2T$). Cette formule concorde, pour fixer autour de 50-55 mm la pluviosité mensuelle (1,6 à 1,8 mm/jour) qui détermine le début de la saison sèche, avec celle de Penman [9] où $P < 0,35 Etp$, qui correspond aux besoins en eau de la plupart des cultures vivrières africaines pendant les jours suivant immé-

diatement le semis, en Afrique occidentale.

Le Houérou et Popov [10] ont établi une classification des zones écoclimatiques en reprenant celle de De Martonne et en combinant plusieurs critères où des distributions monomodales peuvent se trouver dans des zones sèches, voire très sèches, tandis qu'on trouve des distributions bimodales dans des régions très humides.

Données climatiques utilisées

La détermination d'indices d'aridité bioclimatique comme celui utilisé par la FAO et l'Unesco fait intervenir des données climatiques telles que la pluviométrie, l'évapotranspiration potentielle qui est calculée à partir de la température, la vitesse du vent, l'albédo et la durée de l'insolation.

Par ailleurs, des données sur l'humidité relative et la température ont été utilisées pour certains aspects de l'analyse concernant la vérification de la situation climatique des localités étudiées.

Les données climatiques disponibles concernent les localités de Filingué, Kollo, Niamey, Say, Téra et Tillabéri. Il faut noter que les données demandées pour une période de 30 ans (1970 à 1999) ne sont pas disponibles pour le paramètre évapotranspiration potentielle et pour toutes les stations. La direction nationale de la Météorologie ne dispose que de données de 23 ans (1977 à 1999) pour ce dernier paramètre et dans deux localités seulement : Niamey aéroport et Tillabéri. Le même problème s'est posé pour les données relatives à la température ; celles-ci ne sont disponibles que pour deux localités : Niamey aéroport et Tillabéri pour la période demandée.

Il est certain que la variation dans le temps et dans l'espace pourrait être mieux appréciée si l'on disposait de données sur une longue période pour toutes les localités.

Détermination des degrés d'aridité climatique de sept localités

Comme annoncé dans l'objectif, le point central d'investigation est la détermination des degrés d'aridité bioclimatique de sept localités du département de Tillabéri afin de matérialiser le gradient d'aridité. Trois composantes ont été utilisées pour cette détermination. Il s'agit de l'indice d'aridité bioclimatique P/Etp utilisé par la FAO/l'Unesco [4], du diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls [7] des différentes localités, et de l'analyse de variance avec le test de Duncan (*Duncan Multiple Range Test*) pour vérifier la signification statistique des différences observées et pour un groupement de localités suivant leurs degrés d'aridité bioclimati-

que. Les deux dernières méthodes ont été utilisées pour confirmer ou infirmer les résultats de la première approche et aussi pour appuyer les arguments qui seront avancés dans l'interprétation des résultats. Pour l'indice d'aridité bioclimatique et l'analyse statistique, ce sont les données de 1977 à 1997 en séries de 5 ans qui ont été utilisées tandis que les moyennes annuelles de 30 ans (1970 à 1999) pour la pluviométrie et la température ont permis l'établissement des diagrammes ombrothermiques.

Méthodes utilisées

- Indice d'aridité bioclimatique selon le critère quantitatif de différenciation des zones sèches FAO/Unesco

L'indice d'aridité bioclimatique utilisé par la FAO et l'Unesco est un critère de délimitation des régions arides et semi-arides selon Baumer [11].

- Ainsi, plusieurs zones ont été délimitées :
- la zone hyperaride est caractérisée par le rapport $P/Etp < 0,03$
 - la zone aride est caractérisée par le rapport $0,03 < P/Etp < 0,2$
 - la zone semi-aride est caractérisée par le rapport $0,2 < P/Etp < 0,5$
 - la zone subhumide sèche est caractérisée par le rapport $0,5 < P/Etp < 0,75$

Où :

P représente la hauteur moyenne des précipitations annuelles ;
 et Etp l'évapotranspiration potentielle moyenne annuelle.

Partant de cette zonation, des sous-zones ont été aussi définies dans chacune de ces zones par la température moyenne de l'hiver (t_H) et de l'été (t_E).

1. chaud : $20 < t_H < 30$
 2. tempéré : $10 < t_H < 20$
 3. frais : $0 < t_H < 10$
 4. froid : $t_H < 0$
- a. très chaud $30 < t_E$
 - b. chaud $20 < t_E < 30$
 - c. tempéré $10 < t_E < 20$

Ainsi, en considérant ces trois critères, on obtient un certain zonage pour le Niger donné par la figure 1.

Théodore [13] indiquait qu'une division en trois niveaux à partir de la pluviométrie et des isohyètes est souvent utilisée pour désigner semi-aride (150-300/400 mm), aride (70-130 mm ou hyperaride (< 70 mm)).

Les valeurs du rapport P/Etp ont été utilisées pour définir les zones arides et semi-arides, P étant la moyenne annuelle des pluies et Etp la moyenne annuelle de l'évapotranspiration potentielle. Les données recueillies ont permis de déterminer le degré d'aridité bioclimatique de chaque

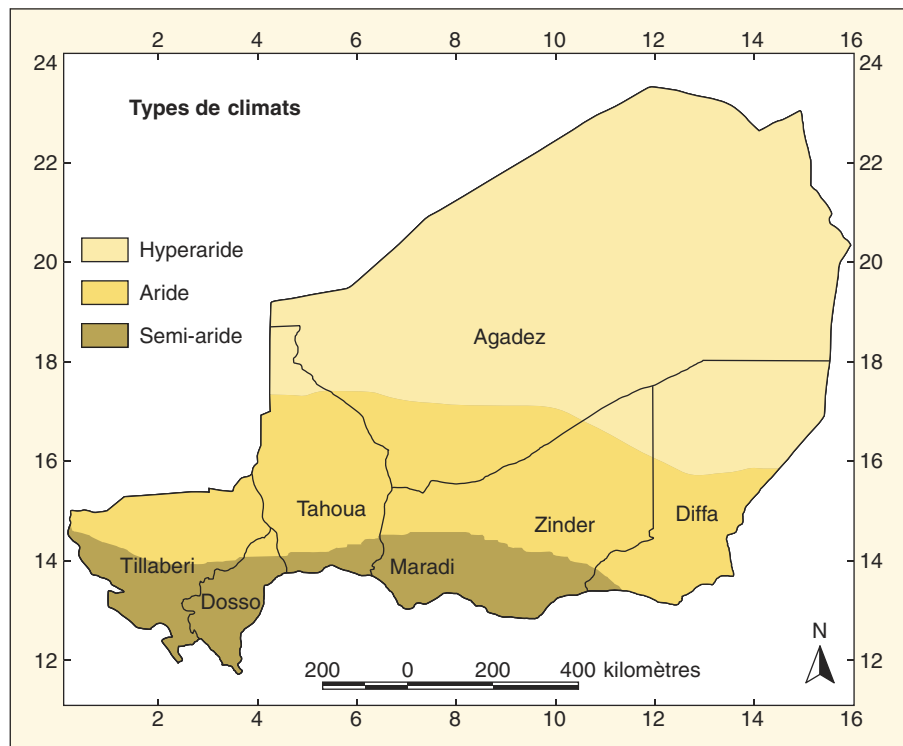


Figure 1. Les types de climats du Niger.

localité et de les classer suivant les zones en utilisant cette méthode.

Un point important à souligner est l'utilisation des données d'évapotranspiration potentielle de Niamey et Tillabéri pour le calcul des degrés d'aridité des autres localités. Les données de Niamey ont été utili-

sées pour le calcul des degrés d'aridité de Niamey, Say et Kollo en considérant que cette station est plus proche de ces localités à 50 et à 30 km respectivement. Celles de Tillabéri ont servi au calcul des degrés d'aridité de Tillabéri, Téra, Ouallam, et Filingué.

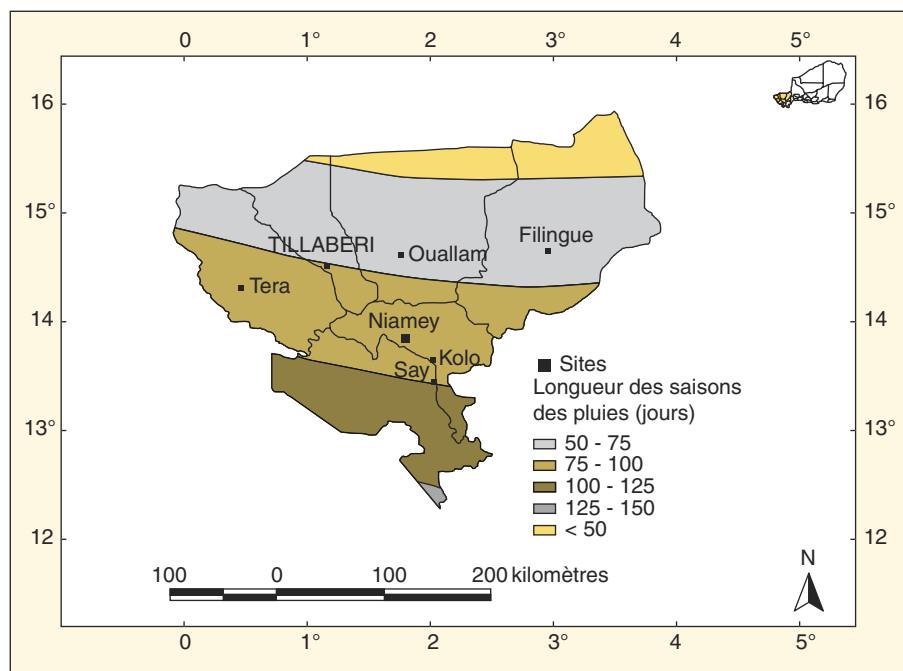


Figure 2. Longueur des saisons des pluies dans le département de Tillabéri.

• Diagrammes ombrothermiques

Les valeurs des températures et des précipitations ont servi à établir les diagrammes ombrothermiques sur une période de 30 ans (1970 à 1999). Les courbes des diagrammes ombrothermiques précisent qu'un mois est considéré comme sec si la courbe des températures est supérieure à celle des précipitations, et si les précipitations sont égales ou inférieures à deux fois la température ($P \leq 2T$). Les diagrammes de Gausson et Bagnouls sont établis pour deux stations seulement (Niamey aéroport et Tillabéri) à cause du manque de données de températures pour les autres localités et en tenant compte des considérations citées plus haut. L'idéal serait d'établir les diagrammes ombrothermiques de chaque localité mais certaines données manquaient et des sites représentatifs étaient choisis.

• Analyse statistique

L'analyse de variance a été faite sur les moyennes de degrés d'aridité bioclimatique pour quatre périodes quinquennales (1977-1981 ; 1982-1986 ; 1987-1991 ; 1992-1997) dans les sept localités. L'objectif visé à travers cette analyse de variance était de tester : i) si des différences existent entre les régions et les périodes en termes de degrés d'aridité bioclimatique ; et ii) si ces différences sont significatives.

Le test de Duncan est utilisé pour le classement des valeurs des régions afin de distinguer clairement les différents groupes qui se dégagent.

Résultats

Précipitations

D'une manière générale, la pluviométrie au Niger est monomodale et variable dans le temps et dans l'espace. Il en est de même pour le département de Tillabéri (figures 3a et 3b). Les différentes localités prises en compte ne font pas exception à la règle. Quatre localités ont été choisies pour appuyer ces constats. Le choix de ces localités n'est pas le fait du hasard. Les deux premières (Niamey et Tillabéri) ont été sélectionnées parce qu'elles sont représentatives des autres localités et qu'elles sont les toutes premières stations synoptiques implantées au Niger alors que les deux autres (Say et Filingué) constituent les deux extrêmes le long du gradient pluviométrique. Say est la localité la plus arrosée et Filingué celle recevant la plus faible hauteur pluviométrique.

Les figures 3a et 3b montrent les fluctuations suivant les différentes périodes.

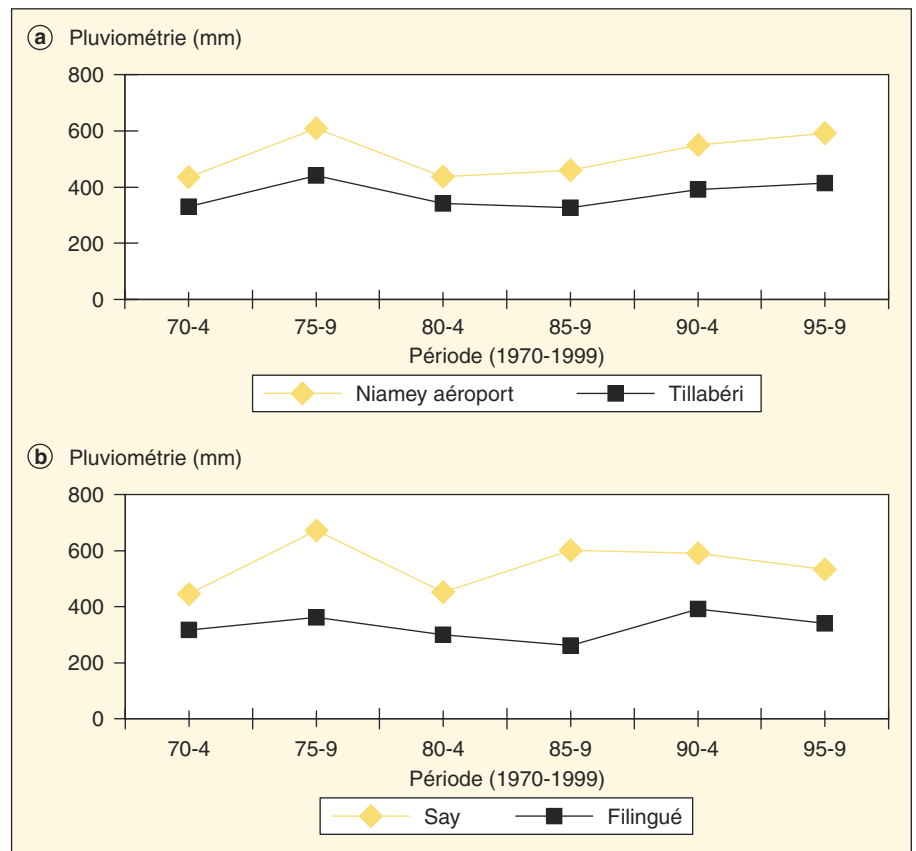


Figure 3. Évolution des moyennes de 5 ans des précipitations. a) : Niamey aéroport et Tillabéri ; b) : Say et Filingué.

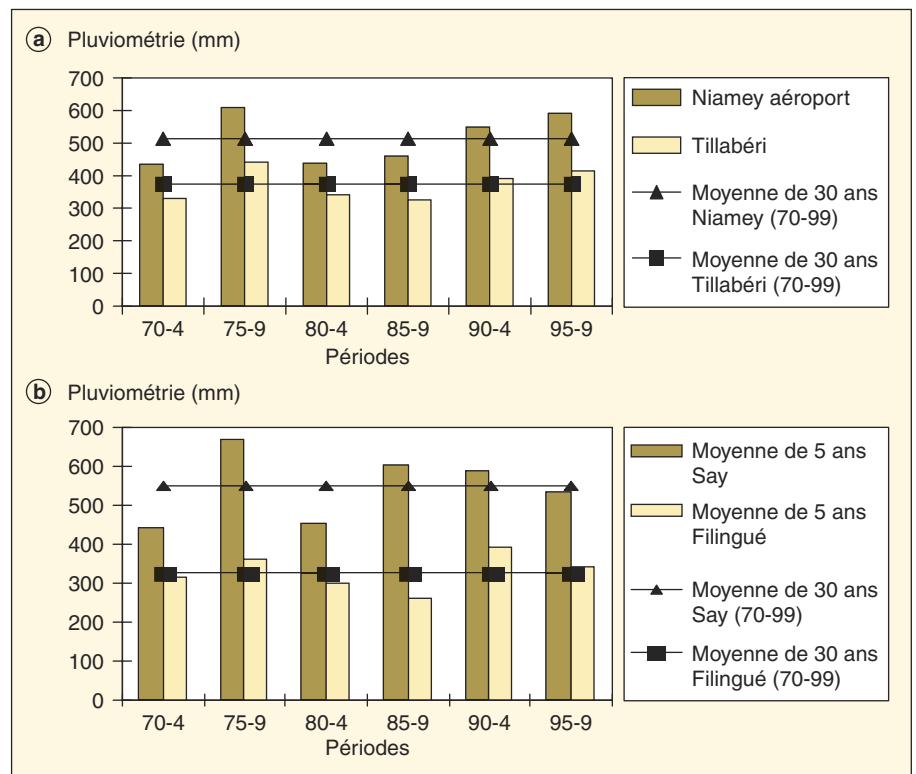


Figure 4. Évolution des moyennes quinquennales des précipitations par rapport à la moyenne de 30 ans. a) : Niamey aéroport et Tillabéri ; b) : Say et Filingué.

L'analyse de la première catégorie de courbes (figure 3) montre que, pour les deux groupes de localités (Niamey-Tillabéri et Say-Filingué), à partir des années 1975 à 1979, il y a un pic significatif qui dénote une ou plusieurs années exceptionnelles de précipitations dans cette série. Ces années de précipitations élevées ne sont pas les mêmes pour les différentes localités. Ce sont les années 1975, 1976, 1977 et 1978 avec respectivement 689,5 ; 532,5 ; 727,4 ; et 523,7 mm pour Niamey, Tillabéri, Say et Filingué.

Par ailleurs, il est observé des points déficitaires sur les différentes périodes. Les séries qui relatent ces chutes sont 1970-1974, 1980-1984, 1985-1989 pour les quatre localités, à l'exception de la courbe de Say qui remonte au cours de la dernière série. Ces pluviométries basses reflètent des années de précipitations déficitaires et par conséquent de sécheresse. L'analyse des moyennes pluviométriques montre que, durant ces périodes, les moyennes minimales sont très en dessous de la moyenne quinquennale.

Une comparaison avec les courbes des moyennes de 30 ans (figure 4) montre que ces séries se situent toutes en dessous de ces moyennes. Les différences par rapport à la moyenne de 5 ans permettent de mettre en évidence les années déficitaires (tableau I).

Les courbes de moyenne sur 30 ans montrent que Niamey se situe au-delà de l'isohyète 500 mm, Tillabéri approchant 400 mm, Say se situant vers l'isohyète 550 et Filingué 350 mm (figures 4a et 4b).

Au Sahel en général, et au Niger en particulier, une constatation s'impose, à savoir l'existence de la fréquence de grandes sécheresses ces dernières décennies : 1968-1974, 1983-1984 [12, 13].

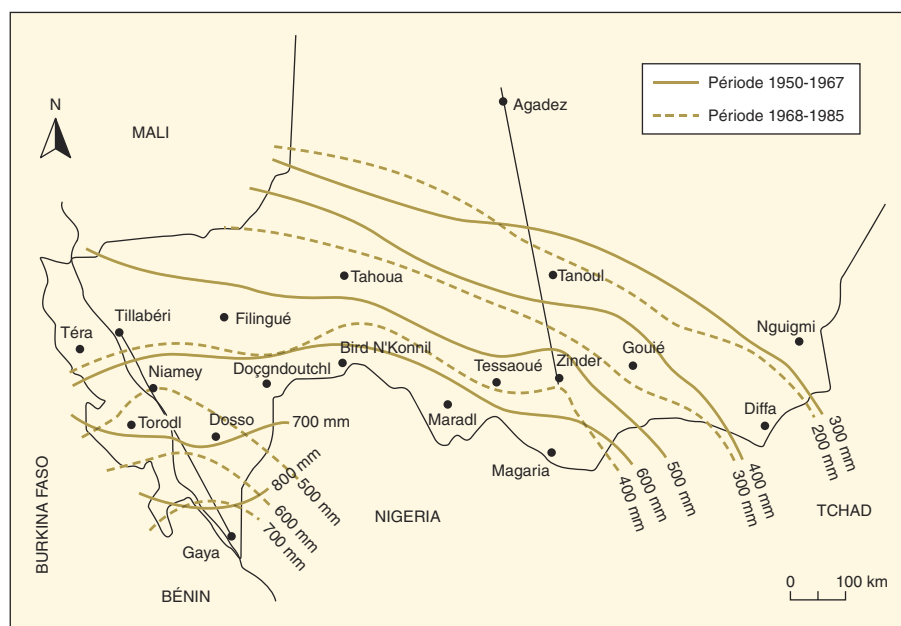


Figure 5. Carte pluviométrique du Sud-Niger : les isohyètes sont calculés sur les périodes humides 1950-1967 (—) et sèches 1968-1985 (-----) [14].

La diminution des précipitations (figure 5) est fonction des années [14]. Des fluctuations pluviométriques sont observées ces dernières années.

Ce qui apparaît d'une manière continue est la diminution de la durée de la saison pluvieuse au profit de celle de la saison sèche suivant les zones bioclimatiques. En effet, cette dernière augmente d'une manière continue et c'est ce qui justifie la baisse de la production biologique car la majorité des plantes cultivées et spontanées n'arrivent pas à maturité.

Influence de la température et des pluies sur la durée des saisons

Au Niger, il existe deux saisons distinctes : la saison sèche qui dure 8 mois, d'octobre

à mai et la saison pluvieuse qui dure 4 mois, de juin à septembre. Cette répartition temporelle des saisons varie dans l'espace. Les diagrammes ombrothermiques établis à partir de la méthode de Bagnouls et Gausson [7] (figures 6a et 6b) montrent que, dans les deux localités du département de Tillabéri (Niamey et Tillabéri), bien que n'étant pas très éloignées l'une de l'autre (110 km), une variation dans l'espace des saisons existe.

À Niamey, la saison humide s'étend de fin mai à mi-octobre, soit quatre mois et demi, alors qu'à Tillabéri elle commence approximativement vers la mi-juin et finit fin septembre ; elle est donc de trois mois et demi.

Un exercice de ce genre pourrait faire ressortir des variations plus remarquables dans les autres localités, notamment entre les deux extrêmes (Say et Filingué).

Selon les diagrammes ombrothermiques, les courbes de température sont bimodales dans le département de Tillabéri. Les deux pics se situent de part et d'autre de la courbe pluviométrique dénotant quatre saisons. Deux saisons chaudes et deux saisons relativement moins chaudes dont les durées et l'intensité varient d'une localité à une autre. Ces variations des températures influent à des degrés différents sur l'évapotranspiration entre localités et à l'intérieur de celles-ci. Les variations des masses d'air ainsi que celles de l'angle d'incidence des rayons solaires seraient à l'origine de ce phénomène.

Tableau I. Années déficitaires sur la base des pluviométries annuelles.

Localités	Années	Pluviométrie annuelle	Différence par rapport à la moyenne de 5 ans
Niamey	1972	342,60	93,78
	1984	293,80	143,74
	1987	381,90	79,12
Tillabéri	1971	250	81,16
	1981	250,30	91,62
	1987	219,20	106,38
Say	1972	363,70	80,76
	1984	324,10	128,06
	1985	399,90	202,58
Filingué	1973	215,70	99,82
	1982	240,20	59,40
	1987	135,10	125,94

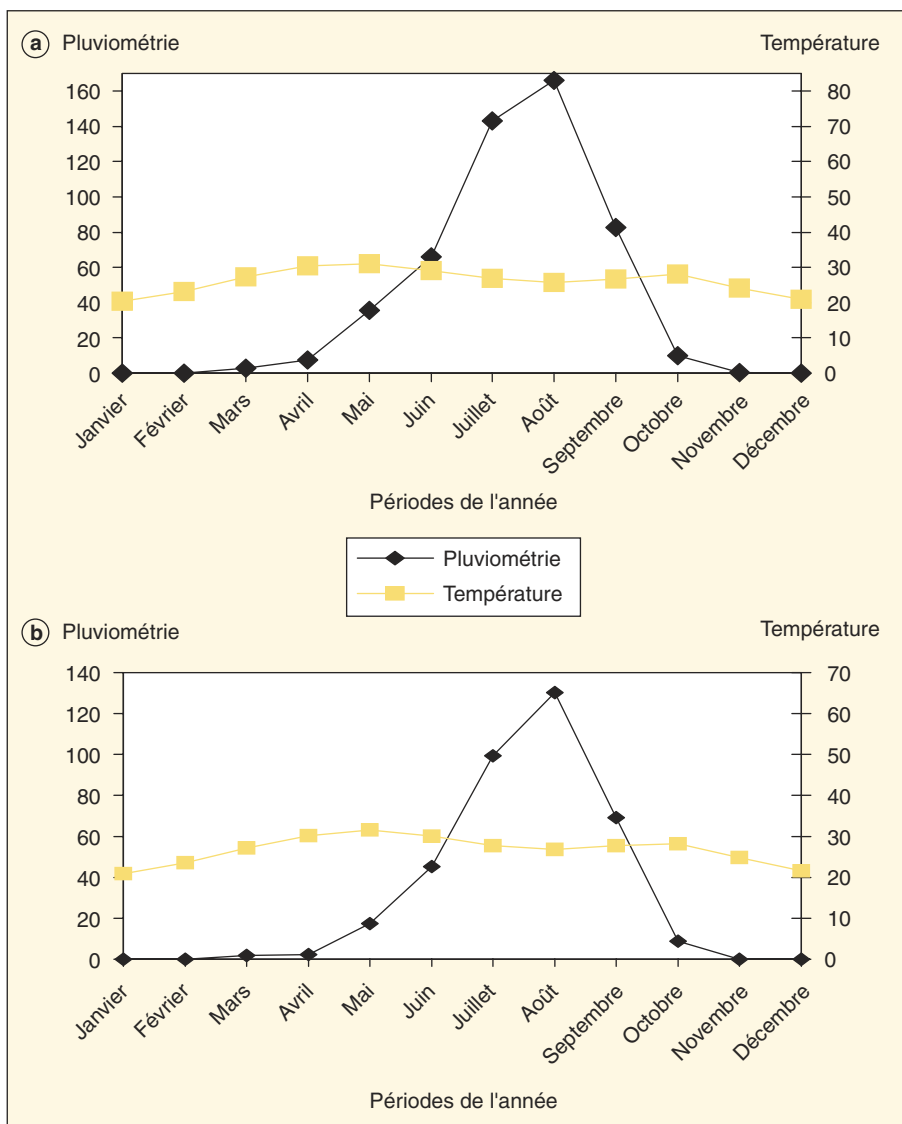


Figure 6. Diagrammes ombrothermiques pour une période de 30 ans (1970-1999). a) pour Niamey ; b) pour Tillabéri.

Indices d'aridité bioclimatique des sept localités

L'indice d'aridité bioclimatique tel qu'évoqué ci-dessus est utilisé pour le calcul des degrés d'aridité bioclimatique des différentes localités. Les facteurs climatiques intervenant dans ce calcul sont la pluviosité et l'évapotranspiration potentielle. Les moyennes de 5 ans ont été calculées pour chaque localité en considérant la période de 21 ans (1977 à 1997). Quatre séries de période ont été utilisées. L'analyse des moyennes de séries pluviométriques de 5 ans montre une différence significative ($p < 0,03$) entre les régions et très significative ($p < 0,0042$) entre les périodes au seuil de 5%. Ainsi, pour ce qui est des régions, le groupement obtenu en utilisant le test de classement multiple fait ressortir cinq groupes

distincts, avec une localité qui peut être considérée comme intermédiaire. Ce groupement se présente de la manière suivante :

- groupe 1 : Say ;

- groupe 2 : Niamey et Kollo ;
- groupe 3 : Téra, qui peut être considérée comme intermédiaire ;
- groupe 4 : Tillabéri et Ouallam ;
- groupe 5 : Filingué.

En considérant l'indice d'aridité bioclimatique, deux grandes zones bioclimatiques se dégagent :

1. la zone semi-aride qui contient Say, Kollo et Niamey ;
2. la zone aride qui contient Téra, Tillabéri, Ouallam et Filingué.

Les localités appartenant à cette dernière zone bioclimatique ont des indices d'aridité bioclimatique variables (tableau II).

Sur la base des valeurs respectives des différentes localités, on observe un gradient net d'aridité qui décroît de Say à Filingué (figures 7a et 7b).

La position géographique de ces localités (figure 2) montre que ces dernières se présentent comme suit : Say au Sud, Kollo au Sud-est, Niamey au centre, Téra à l'Ouest, Tillabéri au Nord-Ouest, Ouallam au Nord et Filingué au Nord-Est.

Du point de vue de la végétation, Say présente une végétation plus dense que Filingué. Ces deux localités se présentent comme des extrêmes avec respectivement 0,21 et 0,15 de degré d'aridité bioclimatique.

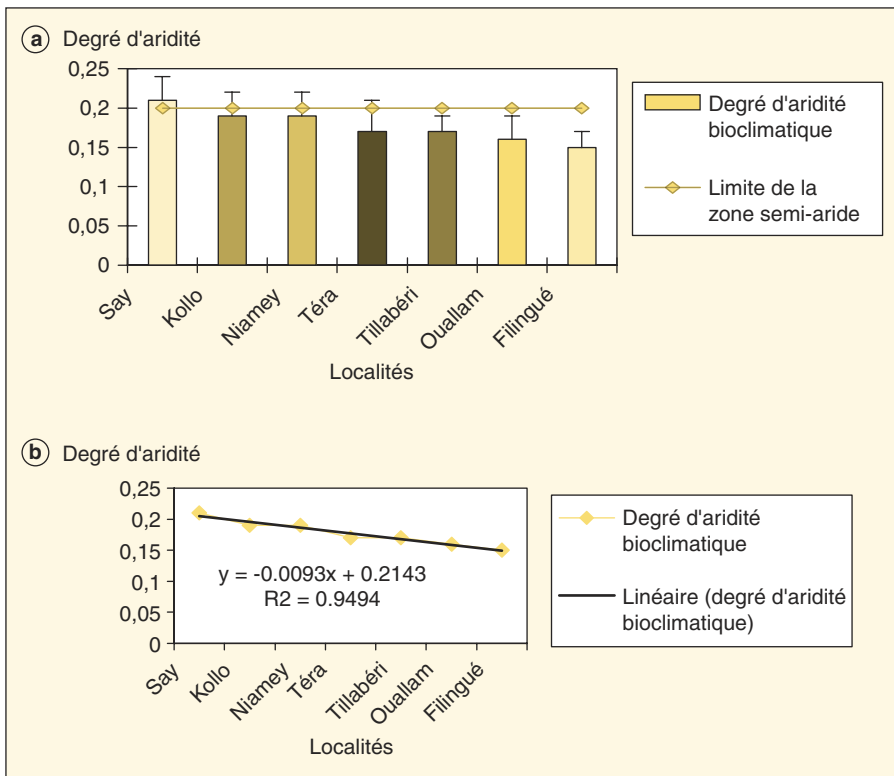
La différence très significative ($p < 0,0042$) entre les séries de périodes implique qu'il existait des variations des différents paramètres mis en jeu suivant les années. Il existe certainement des années avec des précipitations importantes et des années déficitaires dénotant des périodes de sécheresse ; cela est en conformité avec l'analyse des données pluviométriques.

La matérialisation des différentes zones bioclimatiques sur la carte du département de Tillabéri suivant leur degré d'aridité bioclimatique est représentée à la figure 8.

Tableau II. Indices d'aridité bioclimatique de sept localités du département de Tillabéri.

Région	Moyenne	Erreur standard
Filingué	0,15e	0,01
Kollo	0,19b	0,02
Niamey	0,19b	0,01
Ouallam	0,16d	0,01
Say	0,21a	0,02
Téra	0,17c	0,02
Tillabéri	0,17d	0,01
Différence la moins significative	0,03	

Les chiffres précédés d'une même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 5%.



Matérialisation du gradient d'aridité bioclimatique

La matérialisation du gradient d'aridité bioclimatique montre que ce dernier est très net avec une courbe de tendance linéaire ($y = -0,0093x + 0,2143$) qui décroît de Say à Filingué et un coefficient de corrélation R^2 de 0,94 (figure 7b).

Conclusion

La détermination d'indices d'aridité bioclimatique a permis de classer les arrondissements du département de Tillabéri en zones bioclimatiques distinctes. Les deux zones principales qui se sont dégagées (zone semi-aride et aride) montrent bien la représentation actuelle du département. Même si l'indice d'aridité bioclimatique se voit à des échelles différentes, il est apparent que les résultats affichent une différence très significative entre les localités considérées ; cela se traduit par la présence de points très arides surtout au niveau de la zone aride. L'aridité dans le Sud-Ouest nigérien s'exprime par un gradient sud-nord, les deux principales zones

Figure 7. Gradient d'aridité bioclimatique matérialisé par : a) : histogramme ; b) : courbes.

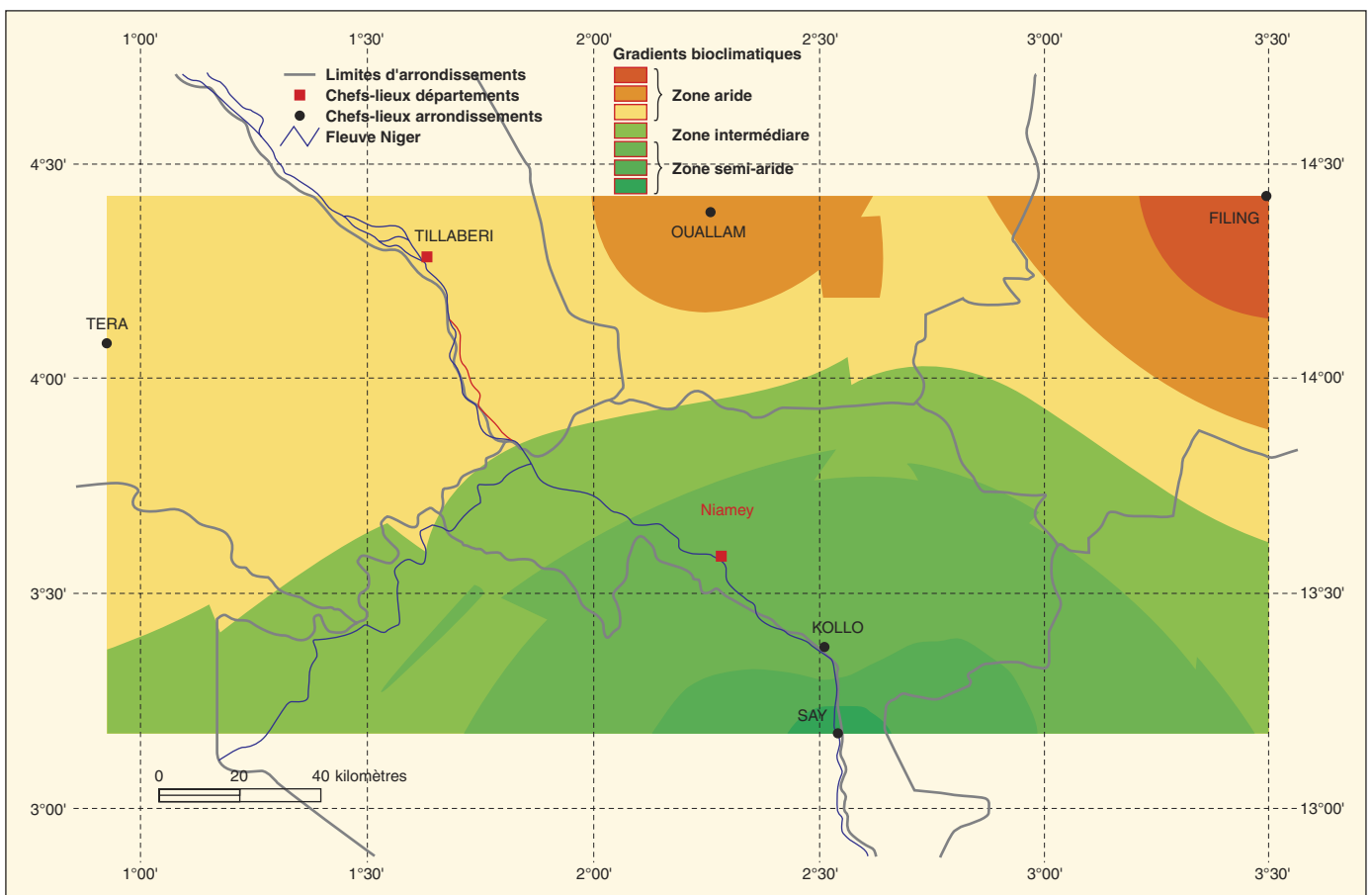


Figure 8. Différentes zones bioclimatiques du département de Tillabéri.

bioclimatiques étant la zone semi-aride au sud et la zone aride au nord, avec une zone de transition ou intermédiaire entre les deux.

Les résultats de ce travail contribueront à une utilisation plus appropriée des termes zone semi-aride et zone aride pour ce département du Sud-Ouest nigérien. Une meilleure circonscription de ces zones est établie afin de permettre aux utilisateurs de s'y référer. ■

Références

1. Saadou M. *La végétation des milieux drainés nigériens à l'est du fleuve Niger*. Thèse de doctorat ès sciences naturelles, université de Niamey, Niger, 1990, 395 p. + annexes.
2. Japan International Cooperation Agency (JICA). *Étude sur le plan de lutte contre la désertification dans le département de Tillabéri en république du Niger (Rapport principal)*. Niamey (Niger) : JICA, 1999 ; 311 p + annexes.
3. Mainguet M. *L'homme et la sécheresse*. Paris : Masson, 1995 ; 335 p.
4. Food and Agriculture Organization (FAO) ; Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (Unesco). *Carte de la répartition mondiale des régions arides*. Notes techniques du MAB7. Paris : Unesco, 1979 ; 55 p.
5. Riquier JR, Rossetti C. *Considérations méthodologiques sur l'établissement d'une carte des risques de désertification. Rapport d'une consultation technique sur la désertification*. Rome : Food and Agriculture Organization (FAO), 1976 ; 28 p.
6. de Martonne E. *Géographie physique. Vol. III : Biogéographie*. 1^{re} ed. Paris : A. Colin, 1928 ; 235 p.
7. Bagnouls F, Gaussen G. Période de sécheresse et végétation. *CR Acad Sci* 1953 ; 236 : 1076-7.
8. Bagnouls F, Gaussen G. Climats biologiques et leur classification. *Ann géo* 1957 ; 355 : 193-220.
9. Le Houérou HM, Popov GF. *An eco-climatic classification of inter-tropical Africa*. Plant Prod. and Prot, Paper n°31. Rome : Food and Agriculture Organization (FAO), 1981 ; i + 40 p. + 3 map sheets.
10. Penman HL. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc Roy Soc London* 1948 ; 193 : 120-45.
11. Baumer M. *Le rôle possible de l'agroforestier dans la lutte contre la désertification et la dégradation de l'environnement. Convention ACP-CEE de Lomé, Togo*. Wageningen (Pays-Bas) : CTA, 1987 ; 260 p.
12. Theodore M. Synthèse du désert. *Sécheresse* 1992 ; 3 : 7-24.
13. Rognon P. Sécheresse et aridité : leur impact sur la désertification au Maghreb. *Sécheresse* 1996 ; 7 : 287-97.
14. Ozer P, Erpicum M. Méthodologie pour une meilleure représentation spatio-temporelle des fluctuations pluviométriques observées au Niger depuis 1905. *Sécheresse* 1995 ; 6 : 103-8.